

VARIABILIDAD TEXTURAL, MINERALOGICA Y GEOQUIMICA DE LA BENTONITA DE YUNCOS (CUENCA DE MADRID)

M. Pozo *, J. A. Medina *, J. Casas ** y A. Moreno *

RESUMEN

En este trabajo se estudia la variabilidad composicional (mineralógica y geoquímica) y textural de la capa principal de bentonita (saponita) del depósito de Yuncos (Toledo), en el sector suroccidental de la cuenca de Madrid.

Desde un punto de vista sedimentológico se han diferenciado en la capa bentonítica dos episodios: uno inferior (I) caracterizado por litofacies de lutitas masivas, que muestran lateralmente microfacies brechoides-bioturbadas (columna A) a intraclásticas con «glébulas» y materia orgánica (columnas B y C), y otro episodio superior (II) constituido por lutitas laminadas-lajeadas con ooides calcíticos, que muestra un escaso desarrollo en las columnas estudiadas.

El primer episodio se interpreta como depósitos de encharcamiento palustre somero sobre facies de «mud-flat» lacustre, y el segundo como correspondiente a depósitos en pequeños encharcamientos rellenando depresiones sobre la bentonita del episodio inferior que es parcialmente removilizada.

De los datos texturales se infiere que la columna A corresponde a la zona con mayor grado de somerización, mientras que la C es la que presenta rasgos de un mayor período de encharcamiento, siendo la B transicional entre ambas.

Mineralógicamente se observa una disminución progresiva en el contenido de minerales heredados (cuarzo, feldespatos, illita-mica) en la dirección A-C, que coincide con un incremento en la proporción de fracción arcilla en las granulometrías. La arcilla está constituida fundamentalmente por saponita, con illita abundante en la columna A y sepiolita mejor desarrollada en la zona transicional (columna B). Estas características se reflejan en el comportamiento geoquímico, con Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3 , Na_2O y TiO_2 decreciendo en la dirección A-C (correlación positiva), mientras que MgO es su antagonista (correlación negativa). Los elementos traza, especialmente Ba, Nb, Pb, V y Zn, siguen también una evolución que, como en los elementos mayores, se relaciona con la proporción de minerales detríticos.

Las diferencias observadas en la mineralogía, quimismo y texturas de la capa bentonítica se relacionan con: a) La posición respecto a la entrada de aportes. b) El grado de participación de procesos paleoedáficos vérticos durante episodios de somerización-exposición.

Los estudios con SEM-EDAX han puesto de manifiesto la existencia de saponitas con rasgos texturales y composicionales diferentes, lo que sugiere dos generaciones: una asociada a procesos de transformación ($\text{Al/Mg} > 0,3$) y otra a neoformación ($\text{Al/Mg} < 0,3$).

Palabras clave: Cuenca de Madrid, paleosuelos, saponita, depósitos palustres, arcillas magnéticas, bentonitas sedimentarias.

ABSTRACT

In this paper the compositional (mineralogy and geochemistry) and textural variability of the main bentonite bed (saponite) from Yuncos deposit, southwestern Madrid Basin, have been studied.

Two stages from a mineralogical point of view have been differentiated: Lower stage (I), characterized by massive bentonites which laterally show microfacies from brecciated-bioturbated (section A) to intraclastic with glebules and organic matter (sections B and C), and the upper stage (II) constituted by fissile-laminated bentonite bearing calcite ooids, it shows a poor development in the sections studied.

* Dpto. Q. A., Geología y Geoquímica. Fac. Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid.

** Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC). Madrid.

The interpretation is of palustrine stagnant water deposits on lacustrine mud-flat facies for the lower stage and as small ponds deposits on the lower bentonite —which is partially reworked— for the upper stage. Section A corresponds to the shallower zone whilst section C shows features of a longer stagnation period, section B being transitional between them.

In the mineralogy a progressive decrease in inherited minerals content (quartz, feldspar, illite-mica) from A to C together with a clay fraction increase, has been observed. The clay mineralogy is made up mainly of saponite with illite (higher content in section A) and sepiolite, the latter specially abundant in section B. Geochemically a similar behaviour (positive correlation) for Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3 , TiO_2 and Na_2O decreasing from A to C has been observed. MgO is their antagonist (negative correlation) along the same direction. The trace elements specially Ba, Nb, Pb, V and Zn follow also, as major elements, an evolution related with the detrital content.

The compositional and textural differences observed in the bentonite are related to: a) Location respecting detrital input. b) Degree of vertic paleoedaphic processes participation during shallowing-exposure stages.

SEM-EDAX studies evidence textural and compositional differences in saponite. This suggests two genetic smectites, one related to transformation processes ($\text{Al/Mg} > 0.3$) and the other to neoformation ($\text{Al/Mg} < 0.3$).

Key words: Madrid Basin, sedimentary bentonites, paleosoils, palustrine deposits, magnesium clays, saponite.

Introducción

El registro sedimentario mioceno de la cuenca de Madrid se caracteriza por la existencia de depósitos de interés económico de arcillas magnéticas que se asocian a un episodio de transición entre facies aluviales y lacustres marginales dentro de la Unidad Intermedia (Aragoniense medio). Estos depósitos afloran en una banda que, con dirección aproximada NE-SW, es reconocible desde Madrid capital hasta la zona de Cabañas de la Sagra (Toledo). (Calvo et al., 1989; Ordóñez et al., 1991.)

Recientemente, el estudio de frentes de cantera en las proximidades de Yuncos (Toledo) ha permitido caracterizar litofacies con arcillas magnéticas donde destaca, como hecho más significativo, su composición saponítica (Pozo et al., 1991), lo que contrasta con litofacies equivalentes en los alrededores de Madrid (Galán y Castillo, 1984) y en Cabañas de la Sagra (García et al., 1990), donde es predominante la sepiolita.

El depósito de Yuncos presenta dos capas bentónicas cuyo estudio mineralógico, sedimentológico y geoquímico en diversas canteras del yacimiento, ha puesto de manifiesto diferencias significativas en la composición y texturas del material saponítico (Pozo y Casas, 1992; Pozo et al., 1993).

Se aborda en este trabajo el estudio de la capa bentónica en un frente de cantera, con el fin de establecer la magnitud espacial de la variabilidad composicional (química y mineralógica) y su interpretación genética mediante criterios texturales y de microfábrica.

Materiales y Métodos

Localización y descripción de las muestras estudiadas

El muestreo de material bentónico (capa inferior) se ha realizado en una cantera de dimensiones reducidas, sobre un frente de unos 25 m de longitud, localizada en las proximidades del arroyo del Carrizo, a unos 3 km al SW de la población toledana de Yuncos (Hoja 604, Villaluenga, serie L) (figs. 1a y b). En este frente de cantera se han recogido ocho muestras de bentonita y una de carbonato, distribuidas en tres puntos de la capa bentónica, correlacionables lateralmente (fig. 1c). Se describen a continuación los aspectos de campo de las muestras estudiadas en cada uno de los puntos seleccionados.

Columna A (1,20 m)

Lutitas marrones masivas a brechoides, con tintes rojizos locales de aspecto limoso que parecen rellenar superficies o grietas de desecación, observándose además evidencias de bioturbación y «slickensides» (A.1). A techo pasa transicionalmente a lutitas laminadas-lajeadas que parecen ocupar depresiones, mostrando frecuentes inclusiones blancas milimétricas de carbonato esferulítico (A.2).

Columna B (1,30 m)

Lutitas marrón verdosas, masivas glomerulares con frecuentes «slickensides» (B.1), que lateralmente pasan a materiales más cerosos y compactos con tonalidad grisácea (B.3). A techo la lutita puede presentarse masiva (B.2) o laminada-lajeada (B.4), destacando en esta última la existencia de inclusiones más compactas de morfología angulosa irregular. En todas las muestras se detectan de forma dispersa esferulitos blancos milimétricos de carbonato, observándose que sus tamaños decrecen notablemente en B.2.

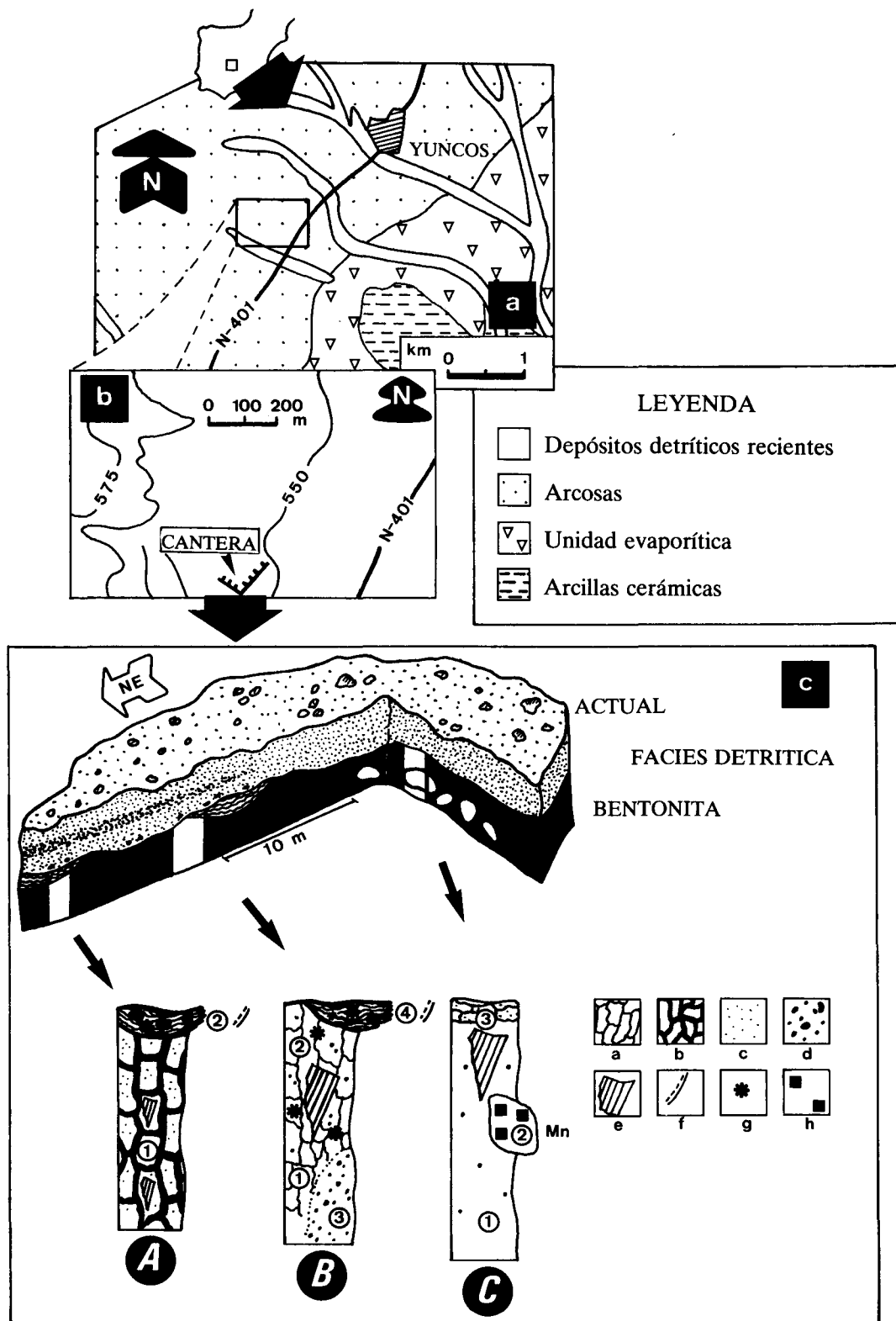


Fig. 1.—a) Mapa geológico y situación de la zona estudiada (adaptado de Menduina, 1988). b) Posición topográfica del frente de cantera seleccionado. c) Esquema del frente de cantera y localización de los puntos de muestreo (A, B y C) en la capa bentonítica. a) Grietas poligonales. b) Grietas con rellenos aleuríticos-arcillosos. c) Terrígenos samo-aleuríticos. d) Intraclastos. e) Planos de deslizamiento «slickensides». f) Películas aleurítico-arcillosas. g) Ooides de calcita. h) Nódulos dolomicrocíticos.

Columna C (1,40 m)

Lutitas verdes amarillentas, c reas, de aspecto masivo a glomerular, con buen desarrollo de «slickensides» de gran tamaño (C.1, C.3). Destaca la existencia de nódulos decimétricos de carbonato blanco, masivo y compacto, que se incluyen en la lutita, estando frecuentemente afectados por «slickensides». Este carbonato es de grano fino presentando dispersos pequeños pedot bulos rellenos de pirolusita (C.2).

De forma s ntetica es posible establecer, por lo tanto, tres litofacies representativas de los puntos muestreados: lutitas masivas brechoides, lutitas laminadas-lajeadas y carbonatos.

Metodología experimental

El estudio mineralógico de las muestras se ha realizado mediante difracción de rayos X, tanto para la muestra total pulverizada como para las fracciones menores de 63  m y 2  m obtenidas por dispersión y sedimentación en agua.

La caracterización de los constituyentes en la fracción arcilla se ha realizado sobre agregados orientados de muestra homoionizada en Mg^{2+} , solvatada con etilenglicol y tratada térmicamente a 550  C. Para la determinación del carácter di o trioctaédrico de los minerales de la arcilla se estudi  en muestra desorientada de tamaño inferior a 2  m la región entre 55-65  (2 ), en las condiciones propuestas por Desprairies (1983).

Por otra parte, en diagramas orientados y glicolados se midi n en las mismas condiciones de trabajo, los índices de Biscaye (1965) en esmectitas.

La cuantificación de los minerales se ha efectuado utilizando los poderes reflectantes recopilados por Schultz (1964), Barahona (1974) y Van der Marel (1966).

El estudio petrográfico se ha realizado en lámina delgada mediante embutido en plástico, previa desecación en n tr geno líquido y desbaste con petróleo.

En el estudio de muestras no disturbadas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) se empleó un equipo Philips SEM-500 con sistema analítico EDAX.

Las determinaciones granulométricas se realizaron siguiendo la metodología propuesta por McManus (1988).

El análisis químico de los elementos mayoritarios se realizó mediante fluorescencia de rayos X en pastilla prensada. Los elementos traza, Ba, Be, Co, Cr, Cu, Nb, Ni, Pb, V y Zn, se analizaron mediante espectrofotometría de emisión ICP. Asimismo, se analizaron empleando esta misma técnica: Ag, As, Cd, Mo, Sb y W, si bien los resultados encontrados estaban por debajo del límite de detección.

Resultados

Composición mineralógica y granulométrica

La distribución del tamaño de grano y resultados mineralógicos, tanto en muestra total como en fracción arcilla se recogen en la figuras 2a, b, y c.

Lutitas masivas brechoides

Desde el punto de vista granulométrico, muestran una variación acusada desde la columna A a la C, caracterizada por el progresivo incremento en fracción arcilla con la consiguiente disminución de los tamaños mayores (aleurita, samita), hecho también observado a techo (B.2).

Mineralógicamente se observa una tendencia similar, pasándose de proporciones en cuarzo y feldespato (potásico y calco-sódico) del 15 % en A al 2 % en C. Las diferencias porcentuales entre estos valores y los de aleurita-samita se deben a la existencia de minerales micáceos en estas fracciones, cuyos contenidos se incluyen dentro de los filosilicatos.

La mineralogía de la arcilla muestra exclusivamente tres componentes: esmectita, illita y sepiolita (fig. 2c). La esmectita es predominante en los tres puntos muestreados, incrementándose notablemente desde A hacia C y a techo, de forma inversa a lo observado con la illita. Destaca la presencia de sepiolita, generalmente en indicios, pero que llega a alcanzar el 30 % en B.3. En el estudio de la cristalinidad de la esmectita se registran índices de Biscaye superiores a 0,85, observándose los valores más bajos en las muestras con mayor proporción en illita (A.1) o sepiolita (B.3). Por otra parte, la medida del espaciado $d_{060} = 1,52 - 1,53$   en polvo desorientado de la fracción arcilla, pone de manifiesto el carácter trioctaédrico de la esmectita, predominante en todas las muestras.

Los diagramas de rayos X, característicos de las asociaciones observadas en la mineralogía de la arcilla, se muestran en la figura 2d.

Lutitas laminadas-lajeadas

Se disponen a techo de la litofacies anterior, con escaso desarrollo lateral, y una geometría que sugiere relleno de depresiones.

Granulométricamente destaca una disminución progresiva en el contenido de fracción aleurita y samita, que pasa del 13 % en A al 6 % en B.

Mineralógicamente destaca la elevada proporción de filosilicatos, con porcentajes en cuarzo y feldespato que en conjunto no superan el 5 %. En la mineralogía de la arcilla predomina la esmectita trioctaédrica, con porcentajes en illita que como en B.4 pueden ser superiores a los de las lutitas infrayacentes. La sepiolita, en escasa proporción, no supera el 5 %.

Carbonatos

Los nódulos de carbonato blanco, incluidos en las lutitas masivas, están constituidos por dolomita predominante y filosilicatos. En la fracción arcilla la esmectita trioctaédrica es el mineral más abundante, con illita e indicios de sepiolita como minerales acompañantes.

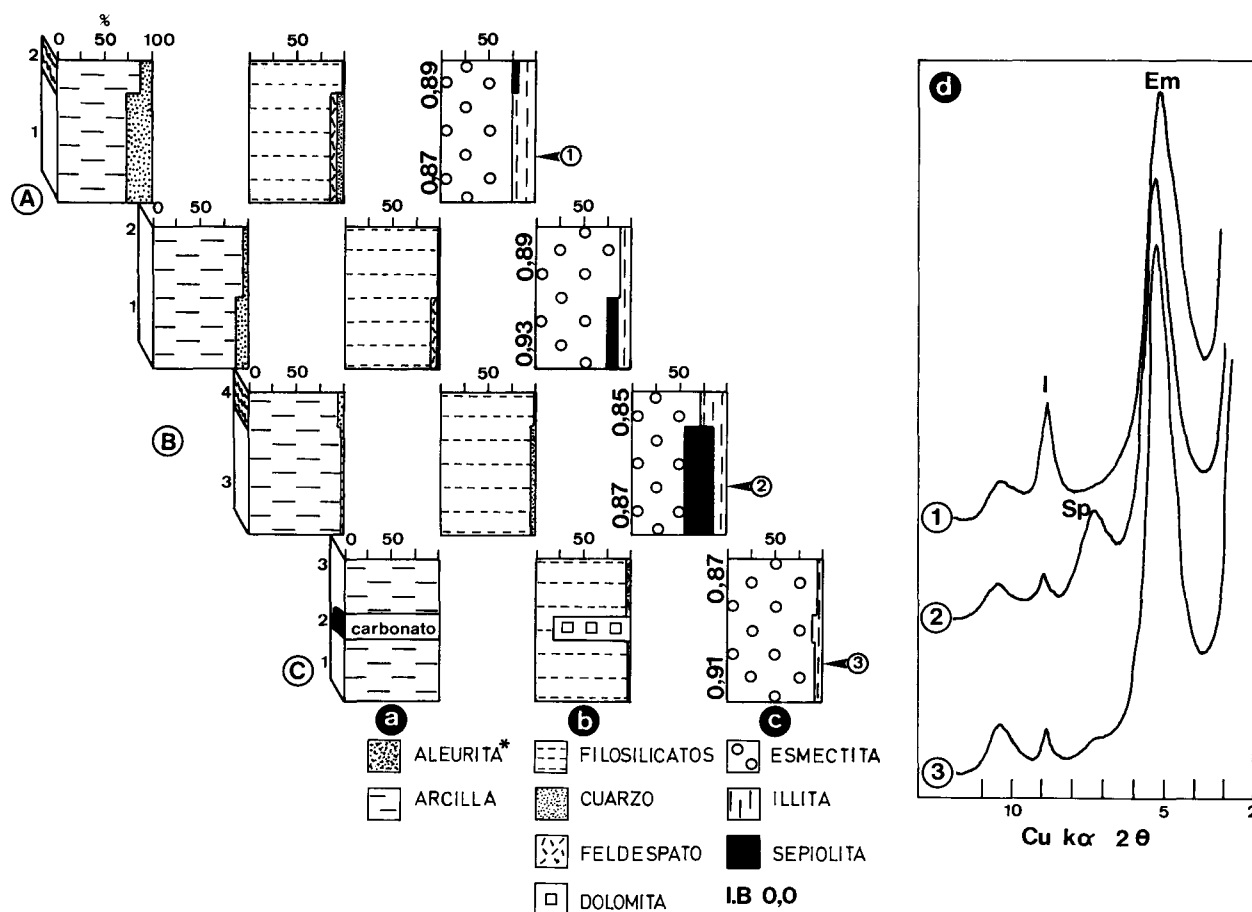


Fig. 2.—a) Distribución granulométrica. No se ha representado la fracción samita, que en todas las muestras donde estaba presente no superaba el 2 %. b) Mineralogía global. c) Mineralogía de la arcilla. I.B. índice de Biscaye. Las flechas numeradas se corresponden con los diagramas de rayos X. d) Diagramas (DRX) representativos de muestras de fracción arcilla, orientada y solvatada con etilenglicol. I, Illita. Em., esmeclita. Sp, sepiolita.

Textura y microfábrica

1. Lutitas masivas-brechoides

El estudio textural ha permitido diferenciar dos microfácies cuyas características se describen a continuación.

Lutitas brechoides bioturbadas

Constituidas por lutitas con rasgos de desecación, intensa bioturbación (estriótubulos) y frecuentes nódulos opacos (L.1.a). Se detectan granos dispersos de cuarzo, feldespatos subredondeados y esporádicas biotitas, en una pasta arcillosa en la que se reconocen componentes laminares de pequeño tamaño y orientaciones de arcillas con fábricas vosépicas, esquelépicas y bimasépicas. Destaca la existencia de

rellenos aleurítico-arcillosos rojizos con microlaminaciones asociados a las grietas de desecación.

El estudio por MEB corrobora la elevada proporción de terrígenos en una masa arcillosa donde se reconocen morfologías típicas de esmeclitas y arcillas orientadas en planos (L.1.b).

Lutitas intraclásticas con glébulas

Se caracteriza (B.1) por lutitas con frecuentes grietas de desecación subhorizontales (L.1.c), donde el esqueleto está constituido predominantemente por intraclastos arcillosos subredondeados de pequeño tamaño (valor medio 1 mm), que contienen en su interior «glébulas» esferoidales con comportamiento óptico próximo a la isotropía. Dispersos o acumulados en los intraclastos se detectan terrígenos, en los que predomina el feldespato sobre el cuarzo, con indicios de turmalina, circón y biotita. Destaca la exis-

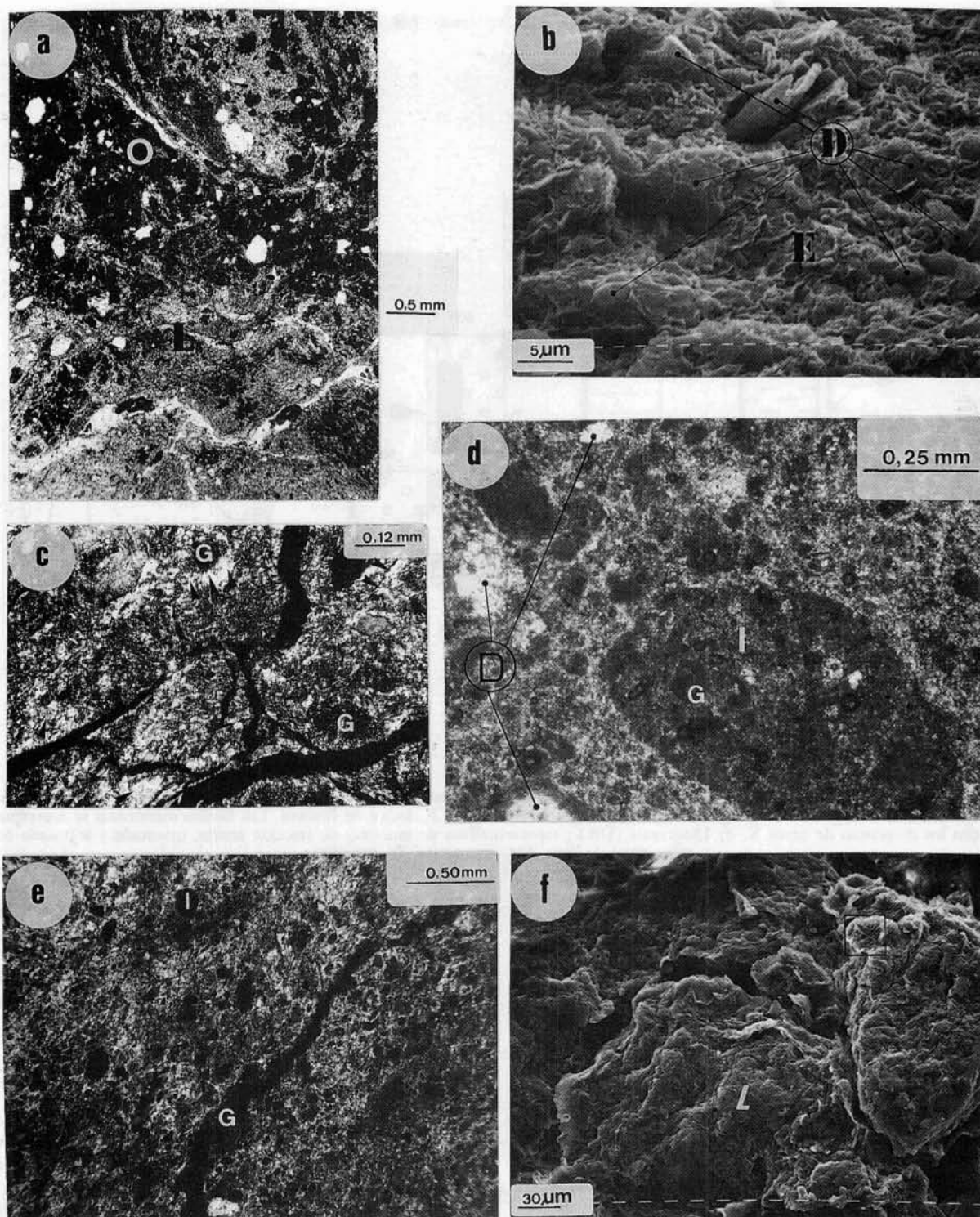


Lámina I

- a) Lutita brechoide bioturbada con terrígenos dispersos (L) y opacos asociados a la bioturbación (O) (N. //).
- b) Detalle de minerales detríticos (D) englobados en la masa esmectítica (E).
- c) Lutita con morfologías de desecación, conteniendo «glébulas» isótropas (G) y arcillas orientadas (flechas) (N+).
- d) Lutita con indicios de detríticos (D) y abundantes intraclastos redondeados (I) conteniendo «glébulas» en su interior (G) (N. //).
- e) Lutita con morfologías intraclásticas (I) y masas geliformes alargadas (G).
- f) Lutita con morfologías de desecación (L) conteniendo agregados de esmectitas (recuadro).

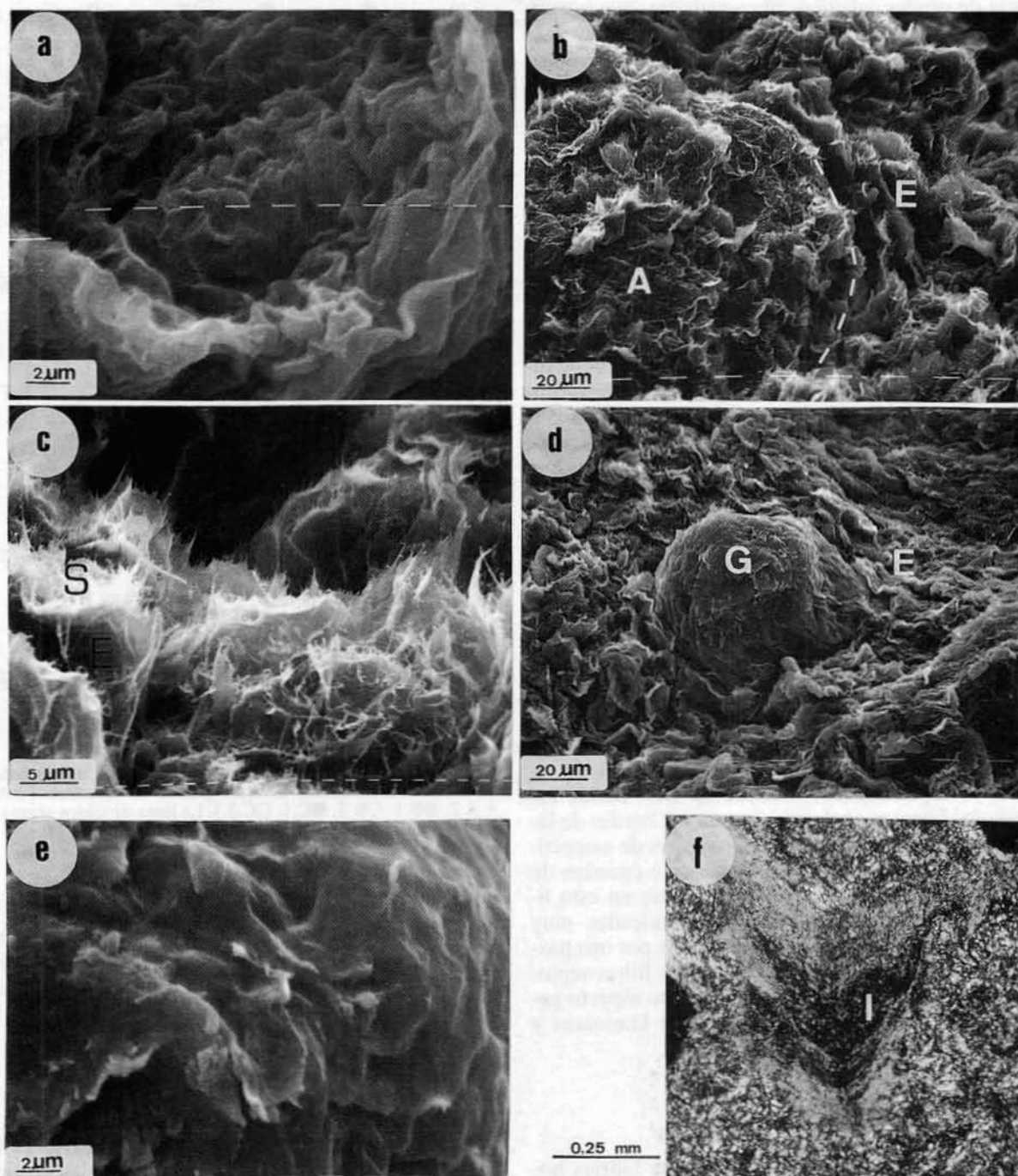


Lámina 2

- a) Detalle del agregado esmectítico de L.1.f, mostrando morfologías de coliflor y contactos cara-borde (honey-comb).
- b) Agregado esmectítico redondeado (A), envuelto por láminas de esmectitas de mayor tamaño (E) que sugieren dos generaciones. Destaca de forma generalizada la presencia de sepiolita.
- c) Detalle de los agregados de sepiolita (s) ligados a bordes de esmectitas (E).
- d) Morfología redondeada (G) incluida en la masa esmectítica (E).
- e) Detalle de la anterior, destacando su elevada compacidad y aspecto geliforme.
- f) Arcillas de iluviación (I) rellenas de fisuras en las lutitas lajeadas-laminadas.
- g) Ooide fibrorradial de calcita (C) en las lutitas lajeadas-laminadas (L).

tencia de ooides calcíticos fibrorradiales, que ocasionalmente muestran en su núcleo terrígenos en fase de reemplazamiento, mientras que en sus bordes pueden presentar aureolas («pore-lining») arcillosas o de opacos. A techo (B.2) decrece el tamaño de los intraclastos y la proporción de terrígenos, observándose en grietas rellenos de material geliforme opaco con evidencias de compactación.

Lateralmente (B.3) se pasa a lutitas masivas con ausencia de fisuración, en las que se incrementa notablemente la proporción de «glébulas» subredondeadas de tamaños muy variables pero inferiores a 130 μm , asociándose a morfologías intraclásticas más grandes (L.1.d).

En la sección C esta microfacies muestra abundantes morfologías intraclásticas y «glébulas», destacando la ausencia de esferulitos calcíticos y la abundancia de material geliforme que tiende a disponerse subhorizontalmente, a veces rellenando fisuras, en todos los casos con evidencias de compactación (L.1.e). A techo se incrementa la proporción de terrígenos y de material geliforme, ocasionalmente con estructuras celulares, mientras que las morfologías intraclásticas decrecen notablemente.

El estudio por MEB confirma en B.1 el desarrollo de morfologías de desecación (L.1.f), destacando en el interior de las mismas la existencia de agregados esmectíticos dispersos con aspecto de coliflor, donde la disposición de las láminas de esmectita con frecuentes contactos cara-borde origina una microfábrica de tipo «honeycomb» (L.2.a). La presencia de sepiolita es especialmente acusada en B.3, donde los agregados fibrosos se desarrollan en los bordes de láminas pertenecientes a dos generaciones de esmectitas (L.2.b), con tamaños que raramente exceden de 3 μm (L.2.c). Las «glébulas», frecuentes en esta litofacies, presentan morfologías redondeadas muy compactas, de baja porosidad, envueltas por una pasta constituida por láminas esmectíticas y fibras sepiolíticas (L.2.d). En detalle muestran cierto aspecto geliforme, con desarrollo de morfologías laminares y total ausencia de fibras (L.2.e).

2. Lutitas laminadas-lajeadas

Se reconocen por la existencia de una fábrica horizontal que incluye morfologías intraclásticas en la que además de fisilidad se detectan laminaciones especialmente marcadas en la sección A, destacando además la existencia en fisuras de rellenos aléurítico-arcillosos de tonalidad anaranjada rojiza con rasgos de iluviación (L.2.f). El contenido en terrígenos es bajo, con muy mala selección, predominando cuarzo y feldespatos, con indicios de turmalina, circón y moscovita. Una característica frecuente es la abun-

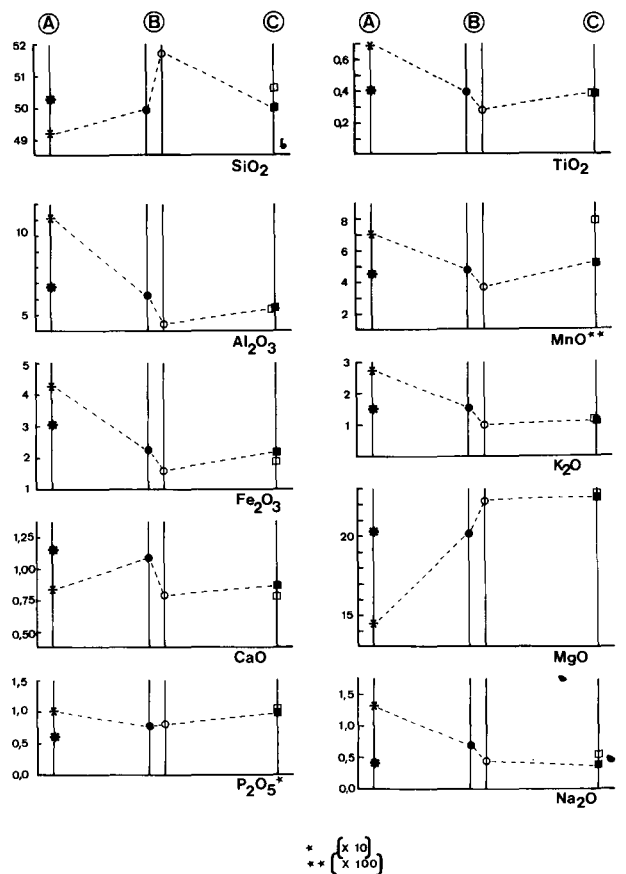


Fig. 3.—Representación del quimismo (elementos mayores) de la capa bentonítica, en los diversos puntos de muestreo (*A.1. *A.2. ●B.1. ○B.3. ■C.1. □C.3.). La línea de trazos separa las muestras masivas de las lajeada-laminada (A.2).

dancia de ooides calcíticos (tamaño medio 360 μm), que pueden presentar evidencias de removilización (rotura, abrasión) y que, junto a terrígenos e intraclastos, son englobados turbulentamente por las láminas arcillosas.

Aspectos geoquímicos

Las variaciones geoquímicas que se observan en las tres secciones estudiadas quedan reflejadas gráficamente en las figuras 3 y 4, para los elementos mayores y traza, respectivamente.

La mayor variación lateral se observa entre la columna A y el resto, de tal manera que la práctica totalidad de elementos mayores y trazas concentrados en A.1 muestran una brusca disminución en sus contenidos al pasar a B.1.

Si los elementos anteriormente mencionados muestran una variación similar entre sí, el magnesio

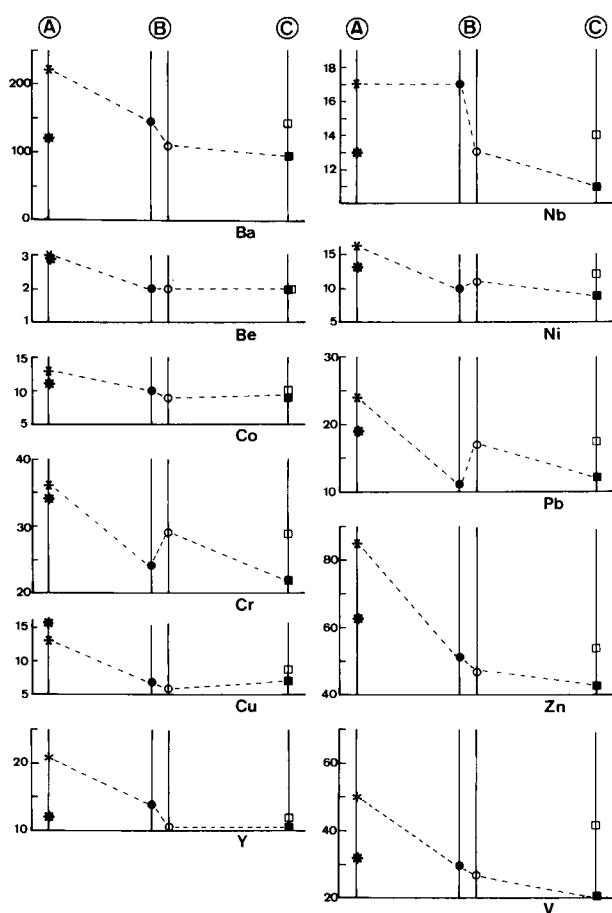


Fig. 4.—Variación de los contenidos en elementos trazas en los puntos de muestreo de la capa bentonítica (símbolos como en la figura 3).

se convierte en su antagonista, incrementándose su concentración desde A hasta C.

La variabilidad composicional de la esmectita asociada a la masa de bentonita, así como de los agregados glebulares incluidos en la misma, se muestra en la figura 5, obtenida mediante análisis puntual EDAX.

Discusión y conclusiones

Interpretación sedimentológica y textural

La capa bentonítica del yacimiento de Yuncos se ha interpretado como resultado de la decantación de materiales arcillosos procedentes del Sistema Central, originando depósitos palustres de transición entre facies distales de abanicos aluviales y sedimentos

de «mud flat» lacustre, donde las arcillas aluminicas heredadas sometidas a la acción de aguas salinas concentradas en magnesio, propician el desarrollo de esmectitas magnésicas saponíticas mediante procesos de transformación y neoformación (Pozo y Casas, 1992; Pozo *et al.*, 1992c).

Analizando los datos de campo es posible diferenciar en la capa de bentonita estudiada dos episodios que coinciden con las dos litofacies lutíticas establecidas.

Episodio Inferior (I)

Constituido por lutitas masivas y brechoides, se interpreta como resultado del desarrollo de encharcamientos someros palustres, en las que las diferencias observadas en el aspecto de campo (color, estructura) serían consecuencia del diverso grado de marginalidad y somerización del depósito, lo que se confirma por la variación textural que dichas lutitas presentan.

La existencia en la columna A de grietas de desecación con rellenos aleuríticos y rasgos edáficos (bioturbación, cutanes, «slikensides», etc.), sugiere una zona fácilmente somerizada llegando a la exposición subaérea, comportándose como un paleovertisol, donde el contenido en minerales detríticos dispersos en la masa arcillosa indica además una posición espacial de mayor proximidad a zonas de aportes.

Lateralmente, la zona con evidencias de un período de encharcamiento más prolongado se observa en la columna C, donde destaca en la bentonita su tonalidad más verdosa y frecuente materia orgánica geliforme asociada (especialmente a techo), indicativo de condiciones reductoras que contrastan con las más oxidantes de A. En esta zona es donde se desarrollan nódulos carbonáticos de composición dolomítica, bien diferenciados de la masa arcillosa, que tendrían su origen en procesos de dolomitización durante etapas de aridez.

Entre las dos zonas mencionadas anteriormente (A y C) es posible establecer una tercera de carácter transicional, que gradúa lateralmente a una u otra de forma casi imperceptible en el afloramiento. En su parte más próxima a A se caracteriza por la disminución progresiva de fisuración (menor influencia de desecación) sin mostrar iluviación, pero con ooides de calcita y presencia incipiente de intraclastos lutíticos que se incrementan lateralmente y que llegan a ser abundantes en la base de C. La existencia de estos intraclastos con tamaño medio de samita fina, permite inferir fenómenos de retrabajamiento en zonas periódicamente desecadas sometidas a la oscilación de una lámina de agua.

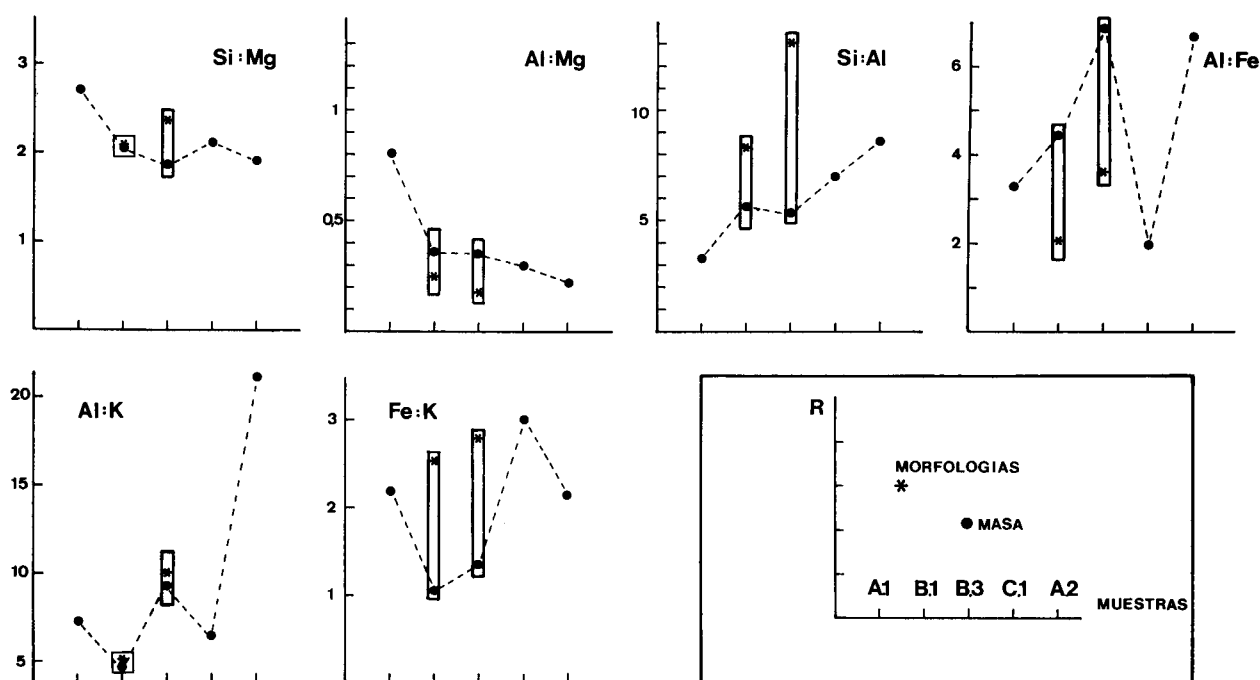


Fig. 5.—Representación gráfica del quimismo (análisis puntual SEM-EDAX) de las esmectitas en la masa arcillosa y en las morfologías incluidas. R. relación entre pares de elementos analizados.

Episodio superior (II)

La geometría de las lutitas lajeadas-laminadas que se disponen sobre la litofacies anterior ocupando depresiones, y sus peculiares características, como disminución en el contenido en minerales detríticos y enriquecimiento en saponita, sepiolita y calcita, sugieren un episodio posterior de encharcamiento, donde ocuparían una paleotopografía similar a la descrita para las estructuras Gilgai-Mukkara (Paton, 1974) ya citadas en otros puntos de la cuenca de Madrid (Pozo *et al.*, 1992a y b). Destaca en estas lutitas el incremento a veces significativo en minerales laminares que, como se ha constatado texturalmente, se relacionan con rellenos aleurítico-arcillosos, que, igual que en la litofacies masiva de A, corresponden a depósitos iluviales posteriores, relacionados con la progradación de las facies aluviales. La presencia de abundantes ooides de calcita en esta litofacies se ha interpretado como resultado de la inversión polimórfica de aragonito a calcita en condiciones de descenso de la salinidad por acción de aguas dulces, lo que propiciaría además el desarrollo de sepiolita con fibras cortas ($< 5 \mu\text{m}$) sobre bordes esmectíticos (Pozo y Casas, 1992). La existencia ocasional de abrasión en los ooides y las frecuentes morfologías intraclásticas incluidas turbulentamente entre las láminas, in-

dicen que, en parte, el relleno de las depresiones anteriormente mencionadas se realiza por removilización del material infrayacente.

Evolución mineralógica

Los resultados obtenidos indican que la capa bentónica estudiada no es mineralógicamente homogénea, con diferencias significativas en la proporción de sus constituyentes que muestran además tendencias bien definidas. Lateralmente, los componentes detríticos caracterizados por la proporción de fracción aleurita-samita y su equivalente en la mineralogía (cuarzo, feldespatos y micas) muestran una clara disminución en sus contenidos, desde la columna A hasta la C. En la fracción arcilla, el único mineral que se considera como claramente heredado, la illita, muestra un comportamiento similar. En la vertical, por su parte, decrece la proporción de fracción detrítica, excepto en la litofacies laminada, donde se detectan contenidos anormales de illita-mica, asociados a iluviación.

Un hecho reseñable en la columna C es su elevada proporción en fracción arcilla, casi exclusivamente constituida por saponita de buena cristalinidad, que contrasta notablemente con la de la columna A

(fig. 2c). Lo mencionado se correlaciona con la zonación energética establecida, donde A y C se interpretan como las zonas de entradas de aportes y decantación, respectivamente, que posteriormente pueden mantenerse encharcadas o ser somerizadas hasta exposición subaérea. Entre ambas se establecería una zona sometida a la dinámica del margen de encharcamiento palustre, con sucesivas etapas de expansión-retracción, donde interaccionan aguas con condiciones hidroquímicas, Eh y pH diferentes, que propician (también en las lutitas laminadas) la formación de sepiolita y calcita asociada a ooides. La relación entre disminución de la salinidad del medio y génesis de sepiolita ha sido puesta de manifiesto por diversos autores (Khoury *et al.*, 1982; Hay *et al.*, 1986; Martín de Vidales *et al.*, 1988).

Variación química

Los resultados sobre el quimismo de la capa bentónica ponen de manifiesto notables diferencias entre la composición química de la litofacies masiva de la columna A y el resto de los materiales tanto del episodio I como II.

Geoquímicamente, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O y Na_2O muestran una evolución lateral similar, disminuyendo sus contenidos desde la zona de aportes con rasgos de exposición (A) a la encharcada (C). En la vertical estos elementos no muestran variaciones significativas en C, pero sí en el episodio II de A (lutita laminada), donde los contenidos son ostensiblemente menores. Esta tendencia es lógica, puesto que estos elementos se asocian fundamentalmente a minerales detríticos que, como se vio en el estudio mineralógico, decrecen en ese mismo sentido.

El MnO muestra una variación similar a la de los óxidos anteriormente mencionados, excepto en C, donde se incrementa notablemente en relación con el mayor grado de encharcamiento que favorecería su precipitación en forma de pirolusita (MnO_2).

SiO_2 y MgO se incrementan desde A hasta C mostrando un aumento brusco en las lutitas intraclásticas ricas en sepiolita, en estas lutitas destaca la similitud en el contenido en MgO con C, con diferencias significativas en la proporción de sílice, lo que puede deberse a la presencia de sepiolita (relación Si/Mg mayor) y/o a la existencia de sílice libre o en la fracción detrítica presente. Es de destacar en el caso del magnesio su correlación negativa con el aluminio y elementos asociados (Fe, Ti, K), hecho que ha sido constatado estadísticamente en estudios con un mayor número de muestras por Pozo *et al.* (1993).

El comportamiento de CaO y P_2O_5 se asocia en el primero a la presencia de ooides calcíticos y el segundo parece incrementarse ligeramente allí donde

hay evidencia de materia orgánica o de actividad de organismos.

El comportamiento de los elementos traza muestra en general un descenso en los contenidos desde A hasta C. Las variaciones más significativas se observan en la zona transicional (columna B) rica en sepiolita, donde algunos elementos (Ni, Cr, Pb) se enriquecen respecto a la zona encharcada (C) y otros disminuyen (Ba, Co, Y, Nb, V). En la vertical es reseñable en C la acumulación preferente de Ba, Cr, Nb, Ni, Pb, Zn y V a techo.

Las muestras con mayor contenido en detríticos son las que presentan mayores concentraciones en elementos trazas. Este hecho es especialmente acusado en el caso de Ba, Nb, Pb, V y Zn, lo que concuerda plenamente con los resultados obtenidos por otros autores en materiales similares (Trauth, 1977; Mosser, 1980).

Variabilidad textural y composicional de la saponita

El estudio por MEB pone de manifiesto que, especialmente en la zona transicional (B), la saponita se presenta con tamaños diferentes, pudiendo un tipo englobar a otro, lo que se interpreta como dos posibles generaciones de esmectitas trioctaédricas, en una primera etapa ligadas a un proceso de transformación de esmectitas alumínicas a magnésicas y en otra posterior asociada a procesos de neoformación. Los procesos de transformación de esmectitas dioctaédricas a trioctaédricas en ambientes lacustres han sido citados por diversos autores (Dyni, 1976; Trauth, 1977; Jones y Weir, 1983; Jones, 1986).

Los resultados obtenidos con análisis puntual EDAX parecen confirmar lo anterior; así, el análisis de esmectitas, tanto en la masa de la bentonita como en morfologías glebulares frecuentemente incluidas, pone de manifiesto dos hechos:

1. Globalmente las esmectitas se enriquecen en Mg respecto de Si y Al en la dirección A-C.
2. Una relación similar se constata en las morfologías glebulares respecto de la masa arcillosa, como pone de manifiesto el presentar relaciones Si/Mg más altas y Al/Mg más bajas.

De estos resultados se deduce que las esmectitas analizadas en masa ($\text{Al/Mg} > 0,3$) y en morfologías ($\text{Al/Mg} < 0,3$), se originan en momentos distintos por mecanismos genéticos diferentes, interpretándose las asociadas a morfologías glebulares como de neoformación, en condiciones similares a las obtenidas experimentalmente por Decarreau (1980, 1981).

El elevado contenido en sílice de B.3, como ponen de manifiesto las relaciones Si/Mg y Si/Al, se relaciona con la existencia de glóbulas geliformes ópticamente isótropas, que podrían desarrollar un papel

importante en los procesos de neoformación. Por otra parte, la similitud observada en el quimismo de las morfologías analizadas con la masa arcillosa de C sugiere removilización parcial de la misma, propiciándose la neoformación en las zonas con mayor período de encharcamiento en aguas ricas en magnesio y sílice con pH alto.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto PB91-0023 que ha sido subvencionado por la DGICYT. Agradecemos a don J. M. Teodoro de la empresa Minas de Gador, S.A. (Grupo LAPORTE), las facilidades recibidas en los muestreos a pie de cantera.

Referencias

- Barahona, E. (1974). *Arcillas de ladrillería de la provincia de Granada: Evaluación de algunos ensayos de materias primas*. Tesis doctoral, Univ. Granada, 309 págs.
- Biscaye, P. E. (1965). Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clays in the Atlantic and adjacent seas and oceans. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 76, 803-832.
- Calvo, J. P., Alonso, A. M. y García del Cura, M. A. (1989). Models of Miocene marginal lacustrine sedimentation in the Madrid Basin (Central Spain). *Palaeogeog., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 70, 199-214.
- Decarreau, A. (1980). Cristallogenèse expérimentale des smectites magnésiennes: hectorite, stevensite. *Bull. Min.*, 103, 579-590.
- Decarreau, A. (1981). Cristallogenèse á basse température de smectites trioctédriques par vieillissement de co-précipités silicométalliques de formule $(\text{Si}_{4-x}) \text{M}_3\text{O}_{10} \cdot n \text{H}_2\text{O}$. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 292, 61-64.
- Desprairies, A. (1983). Relation entre le paramètre b des smectites et leur contenu en fer et magnesium. Application à l'étude des sédiments. *Clay Miner.*, 18, 165-175.
- Dyni, J. R. (1976). Trioctahedral smectite in the Green River Formation, Duchesne County, Utah. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 967, 1-14.
- Galán, E. y Castillo, A. (1984). Sepiolite-Palygorskite in Spanish Tertiary Basins: Genetical patterns in continental environments. En: *Palygorskite-Sepiolite: Occurrences, Genesis and Use* (A. Singer y E. Galán, eds.) Developments in Sedimentology, 37, 87-124. Elsevier.
- García, E., Brell, J. M., Doval, M. y Navarro, J. V. (1990). Caracterización mineralógica y estratigráfica de las formaciones neógenas del borde sur de la cuenca del Tajo (Comarca de La Sagra). *Bol. Geol. y Min.*, 101, 945-956.
- Hay, R. L., Pexton, R. E., Teague, T. T. y Kyser, T. K. (1986). Spring related carbonate rocks, Mg clays, and associated minerals in Pliocene deposits of the Amargosa desert, Nevada and California. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 97, 1488-1503.
- Jones, B. F. (1986). Clay mineral diagenesis in lacustrine sediments. *U.S. Geol. Surv. Bull.*, 1578, 291-300.
- Jones, B. F. y Weir, A. H. (1983). Clay minerals of Lake Abert, an alkaline, saline lake. *Clays & Clay Miner.*, 31, 161-172.
- Khoury, H. H., Eberl, D. D. y Jones, B. F. (1982). Origin of magnesium clays from the Amargosa desert, Nevada. *Clays & Clay Miner.*, 30, 327-336.
- Mac Manus, J. (1988). Grain-size determination and interpretation. En: *Techniques in Sedimentology*. (M.E. Tucker, Ed.), 63-85. Blackwell. Sci. Publ., Oxford.
- Martín de Vidales, J. L., Pozo, M., Medina, J. A. y Leguey, S. (1988). Formación de sepiolita-paligorskita en litofacies lutítico-carbonáticas en el sector de Borox-Esquivias (cuenca de Madrid). *Estudios Geol.*, 44, 7-18.
- Mendiña, J. (1988). *Geología y significado económico de las arcillas cerámicas de la cuenca de Madrid*. Tesis Doctoral, U.C.M. (inédita), 305 págs.
- Mosser, C. (1980). Etude géochimique de quelques éléments traces dans les argiles des altérations et des sédiments. *Sci. Geol., Mem.*, 49, 1-229.
- Ordóñez, S., Calvo, J. P., García del Cura, M. A., Alonso, A. M. y Hoyos, M. (1991). Sedimentology of sodium sulphate deposits and special clays in lacustrine sequences of the tertiary Madrid Basin (España). *I.A.S. Spec. Publ.*, 13, 37-53.
- Paton, T. R. (1974). Origin and terminology for gilgai in Australia. *Geoderma*, 11, 221-242.
- Pozo, M., Cuevas, J., Moreno, A., Redondo, R. y Leguey, S. (1991). Caracterización de arcillas magnéticas bentoníticas en la zona de Yuncos (Toledo). *Bol. Geol. y Min.*, 102, 893-904.
- Pozo, M. y Casas, J. (1992). Mineralogía y sedimentología del yacimiento de saponita de Yuncos (Toledo). *Estudios Geol.*, 48, 47-65.
- Pozo, M., Casas, J. y Moreno, A. (1992a). Rasgos paleoedáficos en episodios de somerización de lutitas magnéticas (Cerro del Aguila, cuenca de Madrid). *III Cong. Geol. de España y VII Cong. Latin. de Geología*. Salamanca, Simposios T-I, 289-299.
- Pozo, M., Casas, J., Moreno, A. y Medina, J. A. (1992b). Magnesium clay paleosoils from Madrid Neogene Basin (España). *Miner. Petrogr., Acta* 35-A, 233-242.
- Pozo, M., Casas, J., Moreno, A. y Medina, J. A. (1992c). Origin of sedimentary magnesium bentonites in marginal lacustrine deposits (Madrid Basin, España). *Miner. Petrogr., Acta* 35-A, 45-54.
- Pozo, M., Moreno, A., Casas, J. y Martín Rubí, J. A. (1993). Mineralogy and geochemistry of sedimentary bentonites related to alluvial fan arkosic facies (Neogene Madrid Basin, España). *Chem. Geol.*, 107, 457-461.
- Schultz, L. G. (1964). Quantitative Interpretation of Mineralogical Composition from X-Ray and Chemical Data for the Pierre Shale. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper.*, 391C, 31 págs.
- Trauth, N. (1977). Argiles évaporitiques dans la sédimentation carbonatée continentale et epicontinentale tertiaire. Bassins de Paris, de Mormoiron et de Salinelles (Francia). Ibel Ghassoul (Maroc). *Sci. Geol. Mem.*, 49, 1-195.
- Van Der Marel, H. W. (1966). Quantitative analysis of clay minerals and their admixtures. *Contr. Mineral. Petrog.*, 12, 96-138.

Recibido el 23 de marzo de 1993
Aceptado el 25 de noviembre, 1993